

PAT-NO: JP02002016045A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002016045 A
TITLE: PLASMA PROCESSING APPARATUS
PUBN-DATE: January 18, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HAYASHI, HISATAKA	N/A
TOMIOKA, KAZUHIRO	N/A
SAKAI, ITSUKO	N/A
OIWA, NORIHISA	N/A
KOJIMA, AKIHIRO	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOSHIBA CORP	N/A

APPL-NO: JP2000195165

APPL-DATE: June 28, 2000

INT-CL (IPC): H01L021/3065, C23C016/509 , C23F004/00 , H01L021/205
, H05H001/46

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma processing apparatus for preventing losses in high-frequency power and realizing high-density uniform plasma processing.

SOLUTION: The plasma processing apparatus includes a processing container which is grounded, a holding electrode for holding a wafer in the processing chamber, an opposite electrode located opposite to the holding electrode, and a high-frequency applying means for applying a high frequency to the holding electrode or the opposite electrode and generating plasma between the holding

electrode and the opposite electrode. The dimensions in the system are determined so that a parasitic capacitance C (pF) between the grounding part of the processing container and the conductive part, for which the high frequency is transmitted, is $1210 \times f^{-0.9}$ or lower, where f (MHz) is the high frequency applied. The processing apparatus has a DC power supply for holding the wafer electrostatically on the holding electrode, and there is a high-frequency trap with a length of $(2n+1)/4$ of the wavelength of applied high frequency between the holding electrode and the DC power supply.

COPYRIGHT: (C) 2002, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-16045

(P2002-16045A)

(43) 公開日 平成14年1月18日 (2002.1.18)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 1 L 21/3065		C 2 3 C 16/509	4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/509		C 2 3 F 4/00	C 4 K 0 5 7
C 2 3 F 4/00		H 0 1 L 21/205	5 F 0 0 4
H 0 1 L 21/205		H 0 5 H 1/46	M 5 F 0 4 5
H 0 5 H 1/46		H 0 1 L 21/302	C
審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 11 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-195165 (P2000-195165)

(22) 出願日 平成12年6月28日 (2000.6.28)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 林 久廣

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 富岡 和広

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

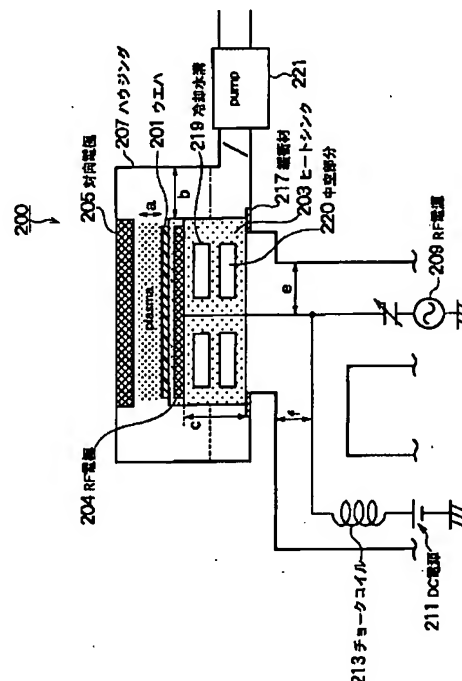
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 高周波パワーの損失を防止し、高密度かつ均一なプラズマ処理を可能にするプラズマ処理装置の提供。

【解決手段】 プラズマ処理装置は、接地された処理容器と、処理容器内でウエハを保持する保持電極と、保持電極に対向する対向電極と、保持電極と対向電極のいずれか一方に高周波を印加して、保持電極と対向電極の間にプラズマを発生させる高周波印加手段とを備え、印加される高周波の周波数を f (MHz) としたときに、高周波が伝播する導体部分と、処理容器の接地部分との間の寄生容量 C (pF) は $1.210 \times f^{-0.9}$ 以下となるように、装置内の寸法が決定されている。処理装置はまた、ウエハを保持電極上に静電的に保持させるための DC 電源を有し、保持電極と DC 電源との間に、印加される高周波の波長の $(2n+1)/4$ の長さの高周波トラップを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被処理体を保持する保持電極と、
前記保持電極に対向する対向電極と、
前記保持電極に、前記被処理体を静電的に保持させるための直流電圧を印加する直流電源と、
前記保持電極に、対向電極との間にプラズマを発生させるための高周波を印加する高周波電源と、
前記保持電極と直流電源との間に挿入され、前記高周波の波長の $(2n+1)/4$ の長さ（ n は0または正の整数）を有する高周波トラップとを備えるプラズマ処理装置。

【請求項2】 前記高周波トラップは、導体管であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記高周波トラップの長さは、前記プラズマ処理装置内に発生する寄生容量および線路のインダクタンスを考慮して、印加される高周波の波長の $(2n+1)/4$ よりも短く設定されることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 前記高周波トラップの長さは、トラップの直流電源側の端部において、印加される高周波の振幅が最大となる長さに設定されることを特徴とする請求項3に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 前記直流電源と並列に接続されたバイパスコンデンサをさらに有し、前記高周波トラップの一端は、前記保持電極に接続され、他端は前記バイパスコンデンサと直流電源とに接続されることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 接地された処理容器と、
前記処理容器内でウエハを保持する保持電極と、
前記保持電極に対向する対向電極と、
前記保持電極と対向電極のいずれか一方に高周波を印加して、前記保持電極と対向電極の間にプラズマを発生させる高周波印加手段と、
を備え、前記印加される高周波の周波数を f (MHz) としたときに、前記高周波が伝播する導体部分と、前記処理容器の接地部分との間の寄生容量 C (pF) が $1210 \times f^{-0.9}$ 以下であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項7】 接地された処理容器と、
前記処理容器内でウエハを保持する保持電極と、
前記保持電極に対向する対向電極と、
前記保持電極と対向電極のいずれか一方に2以上の周波数の高周波を印加して、前記保持電極と対向電極の間にプラズマを発生させる2以上の高周波印加手段と、
を備え、前記少なくとも一方の高周波印加手段の高周波周波数 f (MHz) を60MHz以上としたときに、前記高周波が伝播する部分と、前記処理容器の接地部分との間の寄生容量 C (pF) が $1210 \times f^{-0.9}$ 以下であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項8】 前記高周波は保持電極に印加され、前記

プラズマ処理装置は前記保持電極を支持するヒートシンクをさらに備え、

前記ヒートシンクは、前記処理容器の一部で接触保持されており、ヒートシンクと処理容器との接触面に緩衝材が挿入されていることを特徴とする請求項6または7に記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 前記ヒートシンクはセラミックであり、前記緩衝材は、展性のよい絶縁体であることを特徴とする請求項8に記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 前記緩衝材はテフロン（登録商標）であることを特徴とする請求項8に記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】 前記ヒートシンクは冷媒を通すための冷媒溝を有し、前記ヒートシンクと処理容器との接触面の面積は十分に小さいことを特徴とする請求項8に記載のプラズマ処理装置。

【請求項12】 前記ヒートシンクは、中空部分を有することを特徴とする請求項8または11に記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】 前記ウエハを前記保持電極上に静電的に保持するために直流電圧を印加するDC電源をさらに有し、前記保持電極と前記DC電源との間に、前記印加される高周波の $(2n+1)/4$ 波長の長さの高周波トラップを挿入したことを特徴とする請求項8に記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】 2以上の貫通孔を有し、ウエハを保持する保持電極と、
前記保持電極に対向する対向電極と、
前記保持電極に高周波を印加して、前記保持電極と対向電極の間にプラズマを発生させる高周波電源と、
前記貫通孔に挿入されるプッシャーピンと、
を備え、前記保持電極は、前記高周波が印加される高周波印加電極と、高周波印加電極のウエハ保持面とは反対側に位置する絶縁板とを含み、前記プッシャーピンの側面は、プラズマ発生中には前記貫通孔内部で前記絶縁板に対向する位置まで後退していることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項15】 前記プッシャーピンは、前記ウエハを保持電極上に保持するために保持電極表面から突出するウエハ受け取り位置と、プラズマ発生中に前記貫通孔内部に後退し、前記絶縁板と対向するプラズマ処理位置との間を上下移動可能なことを特徴とする請求項14に記載のプラズマ処理装置。

【請求項16】 前記高周波印加電極の厚さは6mm以下であることを特徴とする請求項14に記載のプラズマ処理装置。

【請求項17】 前記プッシャーピンは導体または半導体であることを特徴とする請求項14に記載のプラズマ処理装置。

【請求項18】 前記ウエハを保持電極上に静電的に保

持するための直流電圧を印加するDC電源をさらに有し、前記保持電極とDC電源との間に、前記印加される高周波の $(2n+1)/4$ 波長の高周波トラップを挿入したことを特徴とする請求項14に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高周波によりプラズマを生成させることによって、エッチングやCVD等を行うプラズマ処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体製造工程で用いられる平行平板型のプラズマエッチング装置において、従来はそのカソード電極に13.56MHz程度の高周波を印加することによりプラズマを励起してきた。ところが、近年の半導体デバイスの高密度化、生産性向上の要請に従い、高密度のプラズマを励起することができるVHF～UHF帯域の高周波を、カソード電極に印加する検討がなされている。このような高周波数化は、ウエハ上に形成されるパタンの微細化とともに、ウエハの大口径化の要求にも答えるものである。

【0003】しかし、高周波になればなるほど、RF電力の損失も大きくなる。RF電力の損失によって、平行電極間に生成されるプラズマの電子密度が減少し、これにより、エッチング速度が低下したり、所望のエッチング形状を得られないという問題が生じる。

【0004】図7は、従来のプラズマ処理装置を示す。従来のプラズマ処理装置は、RF（高周波）が印加されるRF電極704と、直流電位が印加される金属製のDCプレート702と、セラミックあるいは樹脂等の絶縁体703aおよび703bとからなるウエハ保持機構708と、対向電極705とを、ハウジング707内に有する。また、RF電極704、DCプレート702、および絶縁体703を垂直方向に貫通して、ウエハ701をRF電極704上に搭載するためのプッシャーピン802が延びている（図8参照）。ウエハ701が装置外部からハウジング707内に搬送されてくると、プッシャーピン802が上昇して絶縁体703bから突出してウエハ701を受け取り、その後、ピンが下降してウエハ701がウエハ保持機構708上に設置される。

【0005】ウエハ701は、高精度なパターン形状の制御を実現するために、その温度が制御される必要がある。そこで、絶縁体703bとDCプレート702とで静電チャックを構成し、DCプレート702に、DC電源711よりローパスフィルタ713を介して直流電圧を印加することによって、ウエハ701をDCプレート702上に吸着保持する。このとき、ローパスフィルタ713は、RF電極704との容量結合によってDCプレート702に伝わるRF電力が、DC電源711を損傷することを防ぐために設けられている。

【0006】RF電極704には、RF電源709からプラズマを励起するための高周波が印加される。このとき、絶縁体703aは、ウエハの温度を調整するためのヒートシンクとしての役割を果たす。ガス導入ポート706からウエハの材質に応じたエッチングガスをハウジング707内に導入され、ハウジング707内部は、図示しないポンプ等の真空排気手段により一定の圧力に保持される。

【0007】

10 【発明が解決しようとする課題】この従来のプラズマ処理装置において、高周波の周波数を上げていくと、供給ラインのインダクタンスや寄生容量による損失が増大し、結果として高周波電力の損失が大きくなるという問題がある。

【0008】高周波数化による損失増加の具体的な一例として、まず、発生するプラズマ容量に対する寄生容量の相対的な増大が挙げられる。すなわち、高周波化することによりプラズマ密度は向上するが（図3（b）参照）、発生するプラズマの容量自体は、高周波化にともなって急激に減少する（図3（a）参照）。このため、高周波が印加されるRF供給ラインとハウジング707の接地部分との間に存在する寄生容量が、プラズマ容量と同程度になり、印加した高周波電力がプラズマの生成および維持以外の部分で消費されてしまうことになる。

20 【0009】このような電力損失は、特に60MHz以上の高周波を印加する場合に顕著になり、高周波型プラズマ処理装置において、寄生容量の低減は解決すべき必須の課題である。寄生容量を低減するには、ヒートシンクやプッシャーピン構造を含め、装置全体を最適なサイズに設計して、高周波パワーの損失を解消する必要がある。

【0010】このうち、プッシャーピンについて、より具体的に説明する。図8に示すように、ウエハ701を搭載あるいは取り外す際に、図示しない駆動装置によってプッシャーピン802が貫通孔805の中を位置Bまで上昇し、ウエハ701を支える。ウエハ701の搭載後、プラズマ処理中は、プッシャーピン802は、処理位置Aに後退している。このとき、プッシャーピン802とRF電極704との間の容量結合による高周波パワーの損失は、無視できないほど大きい。つまり、プッシャーピンには、ウエハの受け取り、設置以外にも、ウエハの残留電荷を放電する役目もあるので、単純に絶縁物にするわけにはいかず、RF電極704と容量結合したプッシャーピン802の寄生容量が電極損失の一因となっていた。

【0011】容量結合を小さくするには、RF印加電極704と、プッシャーピン802との距離dを大きくする必要があるが、この隙間へのプラズマのまわり込みによる異常放電を防止するために、実際は貫通孔穴805の内壁とプッシャーピン802との距離を0.8mm以

下にしなければならず、容量 $C = \epsilon S / d$ (S はプッシャーピン802と貫通孔805の内壁が向かい合う面積)を小さくすることが困難であった。また、面積 S は、プッシャーピン802と貫通孔805の内壁とが向かい合う高さ h と、プッシャーピン802の直径とで決まるが、従来、RF印加電極704は15mm程度の厚さがあり、一方、プッシャーピン802の上下駆動のストローク(図8に示すAとBの差)はなるべく小さくするのが好ましいので(好ましくは8mm以下)、この点でも容量を小さくすることが難しかった。

【0012】次に、静電チャックからの電力損失について述べる。DC電源711で発生した1000V~3000Vの正の電位を、ローパスフィルタ713を介して、絶縁体703bで覆われたDCプレート702に印加する。ウエハ701は、RF電源709からRF電極704に高周波電力が印加されてプラズマが発生すると、負電位にチャージアップし、絶縁体703に密着する。このとき、高周波がDC導電線を介してローパスフィルタ713に到達し、高周波電力の損失が生じる。これは、ローパスフィルタ713の回路が集中定数のリアクタンス素子で構成されており、寄生容量が大きく、特に、高周波になればなるほど損失が増大するためである。

【0013】また、ローパスフィルタ713を介して、高周波成分がDC電源711に流れ込み、DC電位の制御が不安定になるという問題もある。この高周波成分は、ローパスフィルタ713の断線、焼損、あるいはDC電源711の故障の原因となる場合すらある。

【0014】一方で、エッチングガスの導入量を押さえて、プラズマをより効率良く発生させるために、ハウジング707の容積をできるだけ小さくすることが望まれており、ハウジング707内でウエハを支持する絶縁体ヒートシンク703そのものを真空シールとして用いる構成が提案されている。このとき、真空容器を構成する金属部(ハウジング)と、セラミック等のぜい(脆)性体部分(ヒートシンク)との接触面が真空と大気の世界に位置すると、セラミックが破損しやすいという問題点がある。

【0015】そこで、本発明の第1の目的は、高周波電力の損失を抑制し、DC電源への悪影響をなくして、プラズマを高密度で発生することのできるプラズマ処理装置を提供することにある。

【0016】本発明の第2の目的は、60MHz以上の高周波を印加しても、寄生容量を低減することによりプラズマ容量を相対的に増大させ、電力の損失を抑制することのできるプラズマ処理装置を提供することにある。

【0017】本発明の第3の目的は、ウエハを保持する絶縁体を真空シールとして用いても、ひび割れや破損の起きないプラズマ処理装置を提供することにある。

【0018】本発明の第4の目的は、高周波が印加され

るウエハ保持電極と、ウエハを保持電極上に搭載する際に用いられるプッシャーピンとの間の容量結合をなくし、高周波パワーの損失を大幅に低減することのできるプラズマ処理装置を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、プラズマ処理装置は、ウエハ等の被処理体を保持する保持電極と、保持電極に対向する対向電極と、被処理体を保持電極上に静電保持させるための直流電圧を印加する直流電源と、保持電極と対向電極との間にプラズマを発生させるための高周波を印加する高周波電源と、保持電極と直流電源との間に挿入され、印加される高周波の波長の $(2n+1)/4$ の長さを有する高周波トラップとを備える。ここで、 n は0または正の整数である。

【0020】高周波トラップは、たとえば銀メッキが施された導体管である。高周波の波長を λ としたときに、振幅が最大になる $\lambda/4$ 、 $3\lambda/4$ 、 $5\lambda/4$ 、...に一致する長さのトラップを挿入することによって、保持電極側からDC電源側に流れ込もうとする高周波成分をトラップで反射させ、DC電源側に逃げることを防止できる。これにより、DC電源へのダメージを解消するとともに、高周波パワーの損失を防止することが可能になる。

【0021】高周波トラップの長さは、プラズマ処理装置内に存在する寄生容量を考慮して、印加される高周波の波長の $(2n+1)/4$ よりも短く設定することができ、また、DC電源と並列にバイパスコンデンサを接続し、高周波トラップの一端側を保持電極に接続し、他端側をバイパスコンデンサと直流電源とに接続する構成とするのが好ましい。バイパスコンデンサは、DC電位をトラップに供給すると同時に、高周波に対し十分に低いインピーダンスを有する。このとき、コンデンサに接続された高周波トラップの端部では、高周波電位がゼロとなるため、DC電源に高周波電位による悪影響を与えることがない。

【0022】本発明の第2の目的を達成するために、プラズマ処理装置は、接地された処理容器と、処理容器内でウエハを保持する保持電極と、保持電極に対向する対向電極と、保持電極と対向電極のいずれか一方に高周波を印加して、保持電極と対向電極の間にプラズマを発生させる高周波印加手段を備える。このとき、印加される高周波の周波数を f (MHz)としたときに、高周波を導伝させる部分と、前記処理容器の接地部分との間の寄生容量 C (pF)が $1210 \times f^{-0.9}$ 以下となるように、処理容器内部のコンフィギュレーションが決定されている。

【0023】より具体的には、保持電極は、ウエハ温度調整のための絶縁体からなるヒートシンクに支持されて

おり、保持電極と対抗電極との間の距離 a 、ヒートシンクと処理容器との間の距離 b 、ヒートシンクの高さ c などが、寄生容量 C (pF) が $1210 \times f^{-0.9}$ 以下となるように設定されている。

【0024】また、 $C = Se/d$ で表わされる寄生容量を低減するために、ヒートシンク全体としての誘電率 ϵ を下げるべく、ヒートシンクに冷却水溝、または中空部分、もしくはこれら双方を形成する。冷却水溝に流す冷媒の誘電率は、ヒートシンクを形成する材料の誘電率よりも低いことが好ましい。

【0025】保持電極に、2以上の周波数を印加してもよい。この場合、たとえば、いずれか一方の周波数を、プラズマ密度制御用に60MHz以上の高周波とし、他方の周波数を、イオンエネルギー制御用に、より低い周波数とする。

【0026】本発明の第3の目的を達成するために、プラズマ処理装置の真空容器は、ハウジングと、保持電極を支持するヒートシンクから構成される。ヒートシンクは、ハウジングの一部で接触保持され、真空チャックとして機能する。このとき、ヒートシンクとハウジングとの接触面に、緩衝材が挿入されている。緩衝材は、展性のよい絶縁体、たとえばテフロンである。ヒートシンクとハウジングとの接触保持面の面積を S 、保持電極とハウジングとの間の距離(すなわちヒートシンクの高さ c)を h としたときに、発生する寄生容量 $C = \epsilon S/h$ が十分に小さくなるように、ハウジングとヒートシンクとの接触面 S は充分に小さく設定されている。

【0027】このように、ハウジング(導体)とヒートシンク(セラミック等の絶縁体)との接触面に緩衝材が挿入されているので、プラズマ発生のための真空と大気との境界であっても、ヒートシンクが破損することはない。

【0028】本発明の第4の目的を達成するために、プラズマ処理装置は、3以上の貫通孔を有するウエハ保持用の保持電極と、保持電極に対向する対向電極と、前記保持電極に高周波を印加して、前記保持電極と対向電極の間にプラズマを発生させる高周波電源と、前記貫通孔に挿入されている3以上のプッシャーピンとを備える。保持電極は、高周波が印加される高周波印加電極と、この高周波印加電極のウエハ保持面とは反対側に位置する絶縁板とを含み、プラズマ発生中には、プッシャーピンの側面は、前記絶縁板に対向する位置にある。

【0029】プッシャーピンは、ウエハを保持電極上に設置するために貫通孔を介して保持電極表面から突出するウエハ受け取り位置と、プラズマ処理中に貫通孔内部*

$$f \cdot \lambda = c$$

$$\lambda/4 = c/4f = 3 \times 10^8 \text{ m} / (4 \times 100 \times 10^6) \\ = 0.75 \text{ m}$$

となり、約75cmである。実際は、高周波は導体中を伝播するので、1/4波長は75cmよりも短い値にな

*に後退した処理位置との間で、上下移動する。保持電極のうち、高周波印加電極の厚さは概ね6mm以下であるのが好ましい。このような構成により、プッシャーピンの上下ストロークをなるべく小さく押さえる一方で、プラズマ処理中には、貫通孔内部で絶縁板部分に後退することにより、高周波印加電極との容量結合を解消することができる。

【0030】本発明のその他の特徴および効果は、以下で図面を参照して述べる詳細な説明によって、いっそう明確になるものである。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明を詳細に説明する。

【0032】<第1実施形態>図1は、本発明の第1実施形態に係る平行平板型のプラズマエッチング装置100の図である。プラズマエッチング装置100は、ウエハ101を保持する絶縁体103と、絶縁体103内部の表面近傍に位置するDCプレート102と、DCプレート102の近傍に延びるRF電極104と、RF電極104に対向する対向電極105を有する。DCプレート102、絶縁体103、およびRF電極104で、ウエハ保持電極を構成する。

【0033】プラズマエッチング装置100はまた、DCプレート102に、ウエハ101を静電保持させるための直流電圧を印加するDC電源111と、RF電極104に高周波を印加するRF電源109とを有する。RF電極104に高周波が印加されると、ハウジング107内で、対向電極105とRF電極104との間にプラズマが生成される。

【0034】第1実施形態の特徴として、DCプレート102とDC電源111との間に、印加される高周波(第1実施形態では100MHz)の1/4波長の長さを有する高周波トラップ115が挿入されている。より具体的には、高周波トラップ115の一端側はDCプレート102に接続され、他端側は、1000PFのバイパスコンデンサ108とDC電源111とに接続されている。

【0035】高周波の1/4波長の長さのトラップ115を挿入することによって、DCプレート102を介してDC電源側へ伝達される高周波成分をゼロとして、DC電源側に入り込まないようにする。よって、DC電源111の制御に悪影響が及ばない構成となっている。

【0036】ここで、高周波の1/4波長とは、印加するRFを100MHz、伝播速度を仮に光速 c とした場合に、

※る。第1実施形態では、高周波トラップ115のサイズを、外径が1cm、長さが約27cmの銀メッキを施し

た銅管とした。銅を用いることにより、DC電源111からDCプレート102に印加される直流電流を妨げることなく、DCプレート102側からの高周波をトラップすることができる。

【0037】上記のトラップ115の長さは、RF電極104にオシロスコープを接続し、高周波の振幅が最も大きくなる地点に調節することによって決定された。27cmという値は、 $\lambda/4 = v/4f$ (v は導体中の伝播速度)で決定される理論値よりもさらに短い。これは、高周波を供給する導体部分(ホットライン)と、ハウジングなどの接地部分との間に寄生容量が存在するため、理論値よりも小さく設定できるからである。

【0038】高周波トラップ115を挿入した第1実施形態のプラズマエッチング装置100と、図7に示すローパスフィルタを用いた従来のプラズマエッチング装置とで、発生するプラズマ密度を比較測定した。

【0039】従来の装置において、DCプレートに1500Vの直流を印加すると同時に、Arガスをガス導入ポート706から導入し、ハウジング707内部の圧力を10Paに保持した。さらに、RF電極704に1kWの高周波電力を印加して、ハウジング707内にプラズマを励起した。発生したプラズマの電子密度を、透過マイクロ波による位相干渉計で測定したところ、 $4 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ のプラズマ密度であった。

【0040】同様の測定を、高周波トラップ115を用いた本実施形態のプラズマエッチング装置100で行ったところ、 $5 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ のプラズマ密度が得られた。従来の装置に比較して、20%のプラズマ密度の上昇であり、本発明の高周波トラップ115によって、従来問題とされていた高周波の損失が最大限に防止され、プラズマ発生効率が各段に改善されたことがわかる。換言すると、プラズマエッチング装置100への投入エネルギーのうち、実質的にプラズマ生成に関与する割合が各段に増え、より高速、高精度のプラズマエッチングが可能になる。

【0041】第1実施形態では、静電チャック用の直流電圧をトラップ115を介して印加したが、他の目的で印加するDC用電源との間にトラップを挿入し、プラズマ励起以外の高周波(電磁波)をトラップする構造としてもよい。

【0042】第1実施形態では、高周波トラップ115の長さは、印加される高周波の $1/4$ 波長としたが、振幅が最大になる位置で反射できる長さであればよいので、たとえば、 $3/4$ 波長、 $5/4$ 波長の長さにすることもできる。また、高周波トラップ115は、銅以外の導電性のよい金属で構成してもよい。

【0043】このような構成で、高周波電力の損失を効果的に抑制し、高密度のプラズマを発生させることが可能になる。この結果、直径が200mm~300mmの大口径ウエハに、0.13 μm 以下の設計ルールでプラ

ズマエッチングを施すことが可能になる。

【0044】<第2実施形態>図2は、本発明の第2実施形態に係るプラズマ処理装置200である。プラズマ処理装置200は、ハウジング207と、ハウジング207内でウエハ201を保持するヒートシンク203上面と、ヒートシンク上面近傍に位置するRF電極204と、このRF電極204に対向する対向電極205と、RF電極204に高周波を印加して、対向電極205との間にプラズマを発生させるRF電源209とを備える。ヒートシンク203上面とRF電極204とで、ウエハ保持電極を構成する。

【0045】ヒートシンク203は、たとえばセラミック製であり、内部に冷却水を通すための溝219が形成されている。また、冷却水溝219とは独立して、中空部分220が形成されている。ウエハ201に高精細のプラズマ処理を施すには、ウエハ温度を均一に制御する必要があるため、冷却水溝219はウエハに近い位置に設けられるのが好ましい。これにより、ヒートシンク203は、高周波印加による熱の影響を除去する役割を果たす。

【0046】ヒートシンク203の底面外周部は、ハウジング207の一部で接触保持されている。すなわち、ヒートシンク203の底面は、ヒートシンク203の底面よりも上側に真空チャンバを形成する真空チャックの役割を果たしている。ヒートシンク203の底面より下側は、大気と通じており、通常の大気圧である。このとき、接地されている導電材料のハウジング207と、セラミックのヒートシンク203との接触面が、真空と大気との境界に位置すると、ひび割れなどの破損を生じる。

【0047】そこで、ヒートシンク203とハウジング207との接触面に、緩衝材217を挿入して、破損を防止している。緩衝材217は、柔らかくて絶縁性があり、展性にすぐれた材料であれば、任意の材料を用いることができる。第2実施形態では、テフロンを用いている。

【0048】第2実施形態の特徴として、RF電源209により、RF電極204に周波数 f の高周波を印加した場合にも、ハウジング内に存在する寄生容量 C (pF)を $1.210 \times f^{-0.9}$ 以下に押さえる設計がなされている。寄生容量を低減することによって、プラズマ容量を相対的に増大させ、プラズマ密度を向上させることができるからである。

【0049】この原理を図3を参照して説明する。図3(a)は、図2のプラズマ処理装置のRF電極204に印加した高周波の周波数 f (MHz)と、発生したプラズマの容量(pF)との測定結果を示すグラフである。このグラフから、印加する高周波の周波数を挙げるにしたがって、発生するプラズマの容量は急激に減少することがわかる。このグラフから導かれる周波数とプラズマ

容量との関係は、

$C(pF) = 1209.9 \times f^{-0.9016}$ である。

【0050】一般に、印加する高周波の周波数を上げると、発生するプラズマ中の電子密度が上昇することが知られている。電子密度は周波数の2乗に比例して増加する。したがって、より高い周波数の電力を印加することによって、高速なプラズマ処理を有効に行えと考えられている。

【0051】ところが現実には、図3に示すように、発生するプラズマの容量自体は急激に減少する。たとえば、回路自体が有する寄生容量（すなわち、高周波が印加されている導電性部位と接地部分との間に形成される容量）が図3の点線Cで示すように10pF程度だとする。今、プラズマ密度を上げるために、印加する高周波の周波数を200MHzまで上げるとする。すると、発生するプラズマ容量と、寄生容量と同程度となり、結果的に印加した高周波がプラズマ形成以外のところで消費されてしまうことになる。さらに周波数を上げると、発生するプラズマ容量よりも寄生容量のほうが高くなってしまふ。

【0052】図3(b)は、従来の13.56MHz用に設計された平行平板型プラズマエッチング装置で、印加周波数を上げていったときの電子密度の変化を示すグラフである。放物線L1は、印加周波数の2乗(f^2)に比例するとする電子密度の理論値を示し、放物線L2は、発生するプラズマ容量の減少部分を差し引いた現実の電子密度の増加を示す。図3(a)で求めたように、プラズマ容量は $f^{-0.9}$ に比例して減少するので、斜線で示す差し引き分を考慮すると、プラズマ密度は印加周波数の1.1乗に比例して増加する。

【0053】したがって、最低でも $f^{1.1}$ に比例するだけの電子密度の上昇を確保するには、周波数を上げて寄生容量Cが $1210 \times f^{-0.9016}$ (pF)以下となるように装置を設計する必要がある。

【0054】寄生容量は、高周波が伝播され印加されるホットライン(RF電源209からRF電極に至る導電線およびRF電極自体)と、あらゆる接地部分との間に存在する。このような寄生容量を低減するために、本発明では、(i)ヒートシンク203の冷却水溝219に、なるべく低誘電率の冷媒(少なくとも、ヒートシンク203の誘電率よりも低い誘電率の冷媒)を用いる、(ii)冷却水溝とは独立した中空部分220をヒートシンク203中に設ける、(iii)対向電極205の表面からウエハ201の処理面までの距離a、RF電極205端部からハウジング207までの距離b、ヒートシンク203とハウジング207との接触面からRF電極204までの距離c、導線からハウジングまでの距離e、fを最適に設定する。

【0055】具体的には、たとえば、直径300mmのウエハをプラズマ処理する場合を想定する。対向電極2

05とウエハ201表面との間の距離aを仮に20mmとおく。この場合、RF電極204端部とハウジング207との間の距離bは、この部分に発生する寄生容量を小さくするために、できるだけ大きく取るのが好ましい。しかし、装置の巨大化を防止するには、距離bを無制限に大きく取ることとはできない。そこで、ヒートシンク203とハウジング207との距離bは、対向電極205とウエハ201表面との間の距離aの約2倍、すなわち約40mmに設定する。また、RF電極204からヒートシンク203底面までの距離cは、 $b \times \epsilon_r$ (ϵ_r はヒートシンク203の比誘電率)に設定する。

【0056】ヒートシンク203が石英で作られている場合は、その比誘電率は約6であり、冷却水溝219や中空部分220が形成されていないとすると、距離cは $b \times \epsilon_r$ より約240mmとなる。ヒートシンク203全体の誘電率を下げるためには、(i)中空部分をなるべく多くとる、(ii)冷却水溝219に流す冷媒の誘電率をなるべく低いものを用いる、(iii)上記(i)と(ii)を組み合わせる、という3通りの方法がある。(i)については、中空部分の誘電率はほぼ1であるので、石英のヒートシンク中に中空部分が多いほど、ヒートシンク203全体としたときの誘電率を低減することができる。(ii)については、冷媒として、たとえば誘電率が約2.5のフッ素ナートを用いるのが好ましい。なお、冷却水溝219は、ウエハ201の温度制御を行うために、ウエハ近傍に位置するのが好ましい。

【0057】一方、RF電極204と、ヒートシンク203の底面を接触保持するハウジング207との間の寄生容量Cは、 eS/c (e はヒートシンク203の誘電率、 S はヒートシンク203底面とハウジング207との接触面積)で与えられるので、距離cを小さく設定しすぎると、寄生容量が増えてしまう。しかし、cを無制限に大きくすると装置が巨大化する。そこで、上記のように、冷却溝219と中空部分220とを設けてもヒートシンク203の強度に影響しない高さにcの値を設定し、ヒートシンク全体としての誘電率を下げるとともに、ヒートシンク203の底面とハウジング207との接触面積Sを極力低減し、寄生容量の低減を図った。

【0058】ヒートシンク203の底面と、それを接触保持するハウジング207との接触面積Sが小さくなると、上述したように、金属(ハウジング)と脆性体(ヒートシンク)との境界面が、真空と大気との境界に近くなり、ヒートシンク203が割れやすくなる。しかし本発明では、ヒートシンク203底面とハウジングとの接触面に緩衝材217を挿入しているので、ヒートシンク203の破損を生じることなく、寄生容量を低減することができる。

【0059】このような構成により、高周波パワーの損失を押さえ、ウエハ面上に高密度で均一なプラズマを生成することが可能になる。

【0060】図4は、図2に示すプラズマ処理装置の変形例を示す。図4の例では、高周波を印加するためのRF電源を2つ使用し、2つの異なる周波数の高周波を印加する。たとえば、RF電源409は、プラズマ発生用に60MHz〜100MHzの高周波を印加し、RF電源410は、イオンエネルギー調整用に、1MHz程度の高周波を印加する。それぞれの電源の印加パワーを変化させることによって、プラズマ密度とイオンエネルギーを調整することが可能になる。

【0061】図4に示す例においても、ヒートシンク403に形成された冷却溝419をウエハ401に近い位置に設け、中空部分420をできるだけ多くとり、かつ寸法a, b, c, e, fを最適に設定する。また、ヒートシンク403底面とハウジング407との接触面の面積は、できるだけ小さく設定し、この接触面にテフロンの緩衝材417を挿入している。

【0062】このような構成により、イオンエネルギーとプラズマ密度を同時に制御し、かつ寄生容量を効果的に低減し、高精細のプラズマエッチングが可能になる。

【0063】なお、図2および図4に示すプラズマ処理装置において、RF電極204、404からチョークコイル213、413に至る導電路に、第1実施形態に示した高周波トラップを挿入してもよい。この場合も、高周波トラップの長さ(電気長)は、印加する高周波の波長の $(2n+1)/4$ 、または、装置内部の寄生容量を考慮して、それ以下の長さとする。高周波トラップを設定することで、DC電源への高周波の悪影響を除去するとともに、RFパワーの損失を防止することが可能になる。

【0064】<第3実施形態>図5は、本発明の第3実施形態に係るウエハ保持電極500と、それを貫通するプッシャーピン502の構成を示す。上述したように、プラズマ処理装置において、高周波が用いられる場合に、高周波パワーの損失を防止するために、寄生容量をできるだけ低減する必要がある。特に、従来のプラズマ処理装置において寄生容量の一因となっていた、高周波印加電極とプッシャーピンとの間の容量結合を排除する必要がある。そこで、第3実施形態のウエハ保持電極500は、プラズマ発生時に、プッシャーピンと高周波印加電極との間に容量結合が生じにくい構成とした。この構成は、図1、2、4に示すプラズマ処理装置に好適に用いられる。

【0065】具体的には、ウエハ保持電極500は、厚さ約3mmの高周波印加電極504と、そのウエハ保持面とは反対側に位置する絶縁板506とを含む。絶縁板506は高周波印加電極504に全面接着されている。高周波印加電極504のウエハ保持側には、温度調節用の絶縁体503が設けられている。この絶縁体は、図1、2、4に示すプラズマ処理装置において、ヒートシンク103、203、403と同一の素材である。絶縁

板506は、絶縁体504と同じ素材であっても、異なる素材であってもよい。

【0066】本発明のウエハ保持電極500の高周波印加電極504の厚さは、従来のウエハ設置電極の金属部分の厚さに比べて大幅に低減されている。ウエハ保持電極500を貫通して、2以上の貫通孔505が形成され、導電性または半導体物質から成るプッシャーピン502が挿入されている。プッシャーピン502は、図5の点線AおよびBで示す位置の間で、図示しない駆動機構により上下駆動される。すなわち、保持電極500上にウエハを搭載するとき、および、プラズマ処理が終了してウエハを取り除くときに、点線Bで示す位置まで突出し、プラズマ処理中は、点線Aの位置まで後退する。したがって、高周波印加時には、プッシャーピン502の側面は、貫通孔505内部で絶縁板506に対向することになる。この様子を、図6を参照して説明する。

【0067】図6(a)に示すように、ウエハ601を図1、2、4に示すプラズマ処理を用いて処理する場合に、フォーク606上にウエハ601を搭載して、保持電極500上の所定の位置まで挿入する。このとき、図6(b)に示すように、プッシャーピン502が貫通孔505から突出して、ウエハ601を受け取る。プッシャーピン502がウエハ601を受け取ったならば、フォーク606は、装置外に退出する。

【0068】その後、図6(c)に示すように、プッシャーピン502は下方に後退して、ウエハ601が保持電極500上に保持される。図5および6には示さないが、ウエハ601はたとえばDCプレートによって静電的に保持される。ウエハ601が搭載され静電保持された状態で、高周波印加電極504に高周波が印加され、プラズマ処理が開始される。このとき、プッシャーピン502は絶縁体506に対向する位置にあるので、プッシャーピン502と高周波印加電極504との間に容量結合が発生しにくい。

【0069】第3実施形態では、高周波印加電極504の厚さを3mmに低減して、プッシャーピン502の上下駆動ストロークを6mmに押さえることができた。すなわち、小さな上下ストロークで、プッシャーピンを高周波印加電極504から3mm程度離すことができる。結果として、dが実効的に大きくなり、寄生容量を低減することができる。プッシャーピン502の上下駆動ストロークは8mm以下であるのが好ましいので、たとえば、上下ストロークを8mmに設定すると、プッシャーピンは高周波電極からさらに遠ざかり、寄生容量を一層低減することができる。

【0070】本実施形態では高周波印加電極504の厚さを3mmとしたが、ウエハ温度制御用の絶縁体503の厚さと、絶縁体内部への後退量(良好な上下ストローク)とを考慮すると、高周波印加電極504の厚さは、好ましくは6mm以下である。

15

【0071】このような構成により、プッシャーピン502の上下ストロークを押さえたまま、寄生容量による高周波パワーの損失を効果的に防止することが可能になる。

【発明の効果】以上、説明したように、本発明のプラズマ処理装置によれば、高周波トラップを設けたことにより、直流電源に悪影響を与えることなく、高周波パワーの損失を効果的に防止することができる。

【0072】また、プラズマ処理装置内で、高周波導電部分と接地部分との間の寄生容量を最小にするように、装置内部の寸法を最適に設定した。これにより、プラズマ容量が相対的に増大し、高密度のプラズマ処理が可能になる。

【0073】また、ヒートシンク底面をハウジングによって接触保持させ、真空チャックとしての機能を持たせるとともに、この接触面に緩衝材を挿入した。これにより、真空と大気との境界面でのヒートシンクの破損が防止され、安全なプラズマ処理が可能になる。

【0074】また、高周波印加電極とプッシャーピンとの位置関係を改善したことにより、高周波印加電極とプッシャーピンの間の容量結合を防止し、寄生容量を効果的に低減することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかるプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図2】本発明の第2実施形態にかかるプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図3】印可する高周波の周波数と、発生するプラズマ

16

容量およびプラズマ密度との関係を示すグラフである。

【図4】図2に示すプラズマ処理装置の変形例を示す図である。

【図5】本発明の第3実施形態に係るウエハ保持電極とプッシャーピンとの位置関係を示す図である。

【図6】図5に示したウエハ保持電極上にウエハを搭載する状態を示す図である。

【図7】従来のプラズマ処理装置を示す図である。

【図8】従来のウエハ保持電極とプッシャーピンとの位置関係を示す図である。

【符号の説明】

100、200、400 プラズマ処理装置

101、201、401、601 ウエハ

102、402 DCプレート

103、203、403 ヒートシンク（絶縁体）

104、204、404、504 RF（高周波印加）電極

105、205、405 対向電極

107、207、407 ハウジング

109、209、409、410 RF電源

111、211、411 DC電源

115 高周波トラップ

217、417 緩衝材

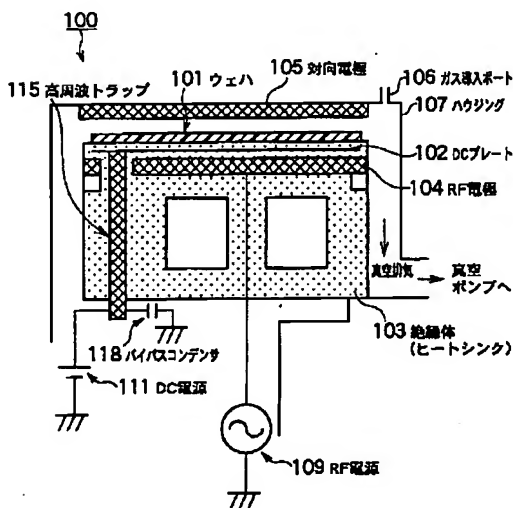
502 プッシャーピン

505 貫通孔

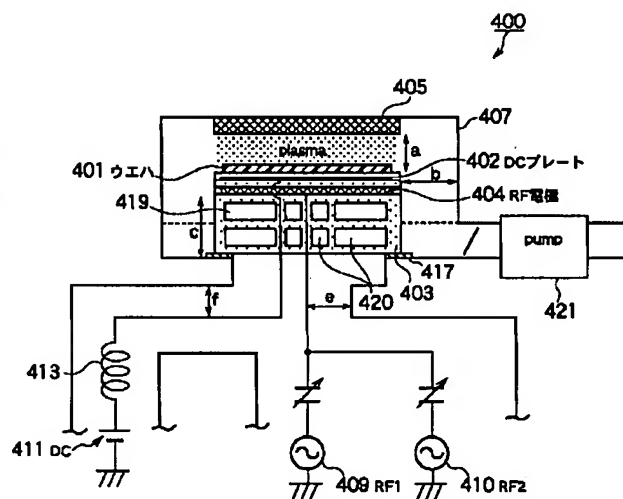
506 絶縁板

606 フォーク

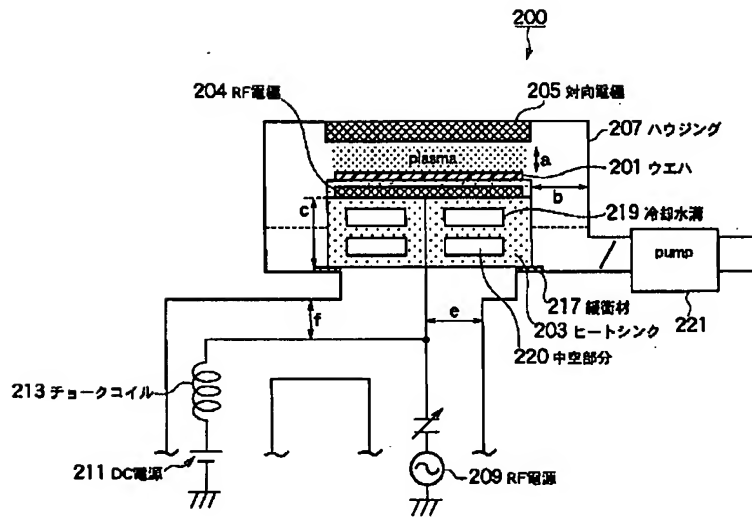
【図1】



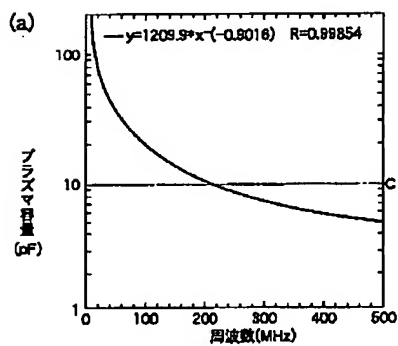
【図4】



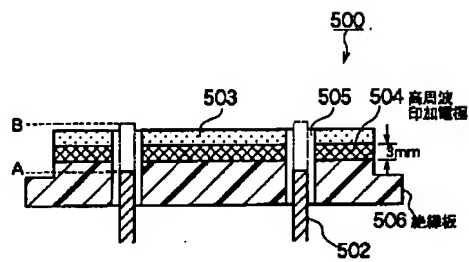
【図2】



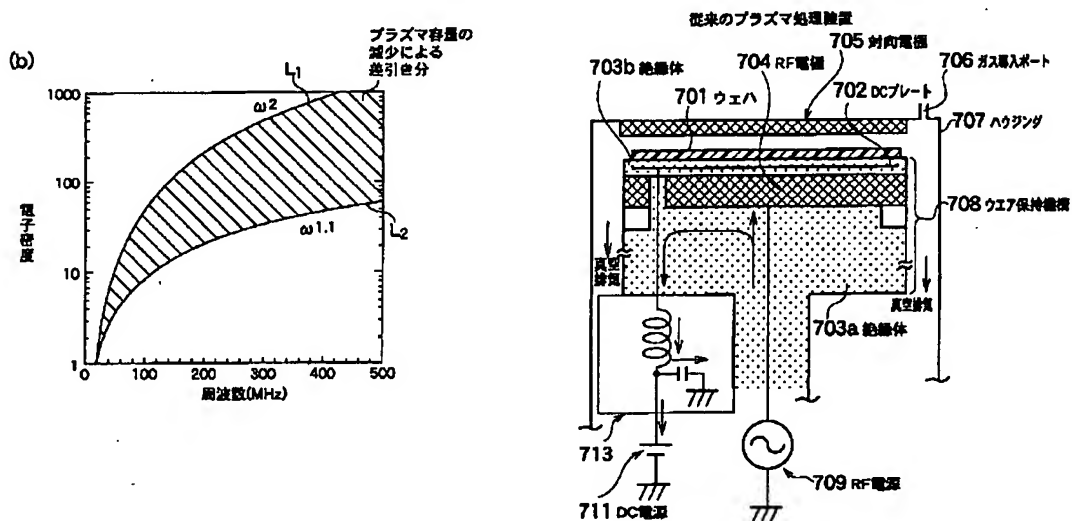
【図3】



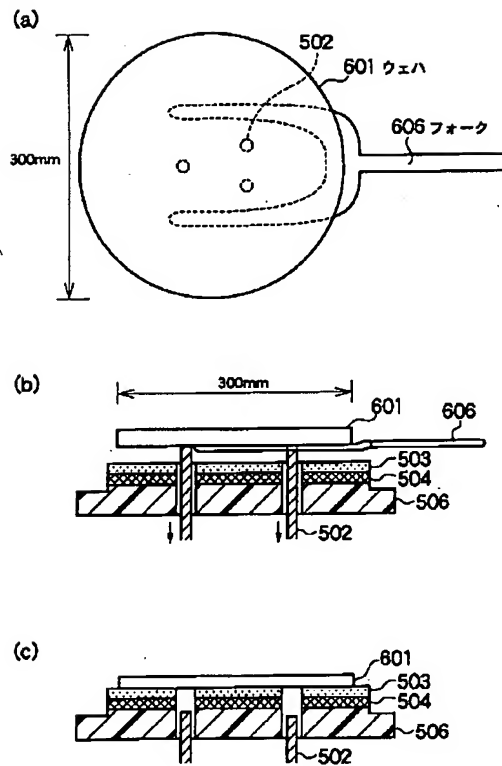
【図5】



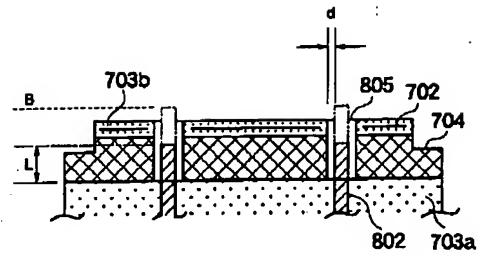
【図7】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 酒井 伊都子
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 大岩 徳久
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 小島 章弘
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

Fターム(参考) 4K030 FA03 GA02 JA18 KA14 KA20
KA26 KA30 KA45
4K057 DA19 DD03 DD08 DM03 DM06
DM18 DM28 DM33 DM35 DM39
DM40 DN01
5F004 AA16 BA09 BB22 CA05
5F045 AA08 DQ10 EB02 EH14 EH20
EM05 EM06